

# 基于 SOPC 的 LXI 总线 1553B 及 ARINC429 通信模块设计

薛玉军<sup>1</sup>, 肖明清<sup>1</sup>, 方甲永<sup>1</sup>, 范 锐<sup>1</sup>, 张鸣鸣<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 航空航天工程学院, 西安 710038;

2. 中国人民解放军驻航宇救生装备有限公司军事代表室, 湖北 襄阳 441000)

**摘要:** 基于 LXI 总线的 1553B 及 ARINC429 通信模块的开发需求, 提出了系统软、硬件设计方案; 硬件设计使用 SOPC Builder 将 IP 核、接口、微处理器等集成到 FPGA 芯片上, 设计了模块的以太网接口、1553B 接口和 ARINC429 接口; 构建了系统软件结构, 编写了驱动程序, 实现了基于  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  和 LwIP 协议的 TCP/IP 协议, 从而实现了 1553B 及 ARINC429 总线的通信协议; 最终实现了 LXI 总线的 1553B 及 ARINC429 通信模块。

**关键词:** SOPC; LXI 总线; 1553B; ARINC429

## Design of 1553B and ARINC 429 Communication Module of LXI Bus Based on SOPC

Xue Yujun<sup>1</sup>, Xiao Mingqing<sup>1</sup>, Fang Jiayong<sup>1</sup>, Fankun<sup>1</sup>, Zhang Mingming<sup>2</sup>

(1. Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. Military Representative Office of PLA in Hangyu Lifesaving Equipment Co., Ltd., Xiangyang 441000, China)

**Abstract:** Aimed at the development requirement of the 1553B and ARINC429 communication module based on LXI bus, the software and hardware of the system is designed. The IP core, the ports and the microprocessor are integrated on the FPGA by using the SOPC Builder. Then the port of the Ethernet, 1553B and ARINC429 is designed. The framework of the system software is built and the drivers are programmed. The TCP/IP protocol based on the  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  and the LwIP is analyzed and achieved. And then the 1553B and ARINC429 bus protocol is completed. At last the 1553B and ARINC 429 communication module of the LXI bus is accomplished.

**Keywords:** SOPC; LXI bus; 1553B; ARINC429

## 0 引言

SOPC (System on a Programmable Chip, 片上可编程系统) 是由 Altera 公司于 2000 年提出的一种灵活高效的 SOC 解决方案。SOPC 以 PLD (可编程逻辑器件) 取代 ASIC, 代表一种新的系统设计技术, 也是一种初级的软硬件协同设计技术, 成为 SOC 设计的新趋势。

作为新一代测试总线, LXI 自 2005 年推出以来就显示出其组建测试系统的众多优点: 易于使用、灵活性高、模块化和可扩展性、实现更快的系统吞吐率、可分布式应用、长寿命、低成本、通过 IEEE1588 时钟同步、机架空间小、合成仪器等<sup>[1]</sup>。

1553B 总线的全称为“时分制指令/响应式多路传输数据总线”(Time Division Command/Response Multiplex Data Bus), 它是一种传输可靠的数据总线, 特别适合于使命关键的计算模块、实时传感器与控制器之间的互连<sup>[2]</sup>。ARINC429 数据总线具有结构简单、性能稳定, 抗干扰性强, 可靠性高等特点。目前, 1553B 及 ARINC429 总线广泛应用于多种飞机航空电子综合系统中<sup>[3]</sup>。研制 LXI 总线的 1553B 及 ARINC429 总线通信模块, 一方面可以满足越来越多被测设备对 1553B 及

ARINC429 总线的测试需求, 另一方面也能推动 LXI 总线在国内的研究和应用。

## 1 SOPC 开发流程

Quartus II 软件支持 SOPC Builder 和 DSP Builder 的系统级设计流程。系统级的设计流程使工程师在更高层次上抽象系统, 快速地设计和评估 SOPC 体系结构和设计。系统级设计流程包括系统总体设计、硬件设计和软件设计。SOPC Builder 是自动化的系统开发工具, 可以有效地简化建立高性能 SOPC 的设计任务, 实现系统定义和集成自动化。图 1 给出了 SOPC Builder 设计流程<sup>[4]</sup>。

## 2 总体结构设计

通信模块总体设计: 采用 RAM 和 ROM 资源足够使用的 32 位处理器和 RTOS (Real-time Operating System, 实时操作系统), 基于 SOPC 技术集成硬件, 基于  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  (Micro Control Operation System, 实时多任务操作系统) 和 LwIP (Light Weight IP, 轻量型 IP) 完成 1553B 及 ARINC429 通信协议。

模块硬件架构采用 Altera 公司的 SOPC 技术, 在一块 Cyclone II FPGA 芯片上根据需要嵌入 32 位软核处理器、外设及自定义功能组件。主要包括 JTAG 调试模块、1553B 接口组件、ARINC429 接口组件、通用 I/O 接口、以太网接口组件、EPCS 串行配置模块、外部 SDRAM 存储器接口、三态桥、外

收稿日期: 2014-02-15; 修回日期: 2014-03-16。

作者简介: 薛玉军(1989-), 男, 山西大同人, 工学硕士研究生, 主要从事武器系统检测与控制等方向的研究。

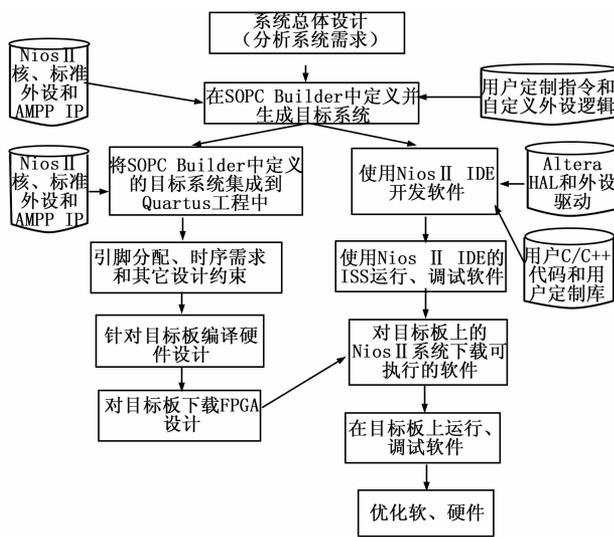


图 1 SOPC Builder 设计流程

部 Flash 存储器接口、定时/计数器、片内 RAM 等。模块硬件架构如图 2 所示。

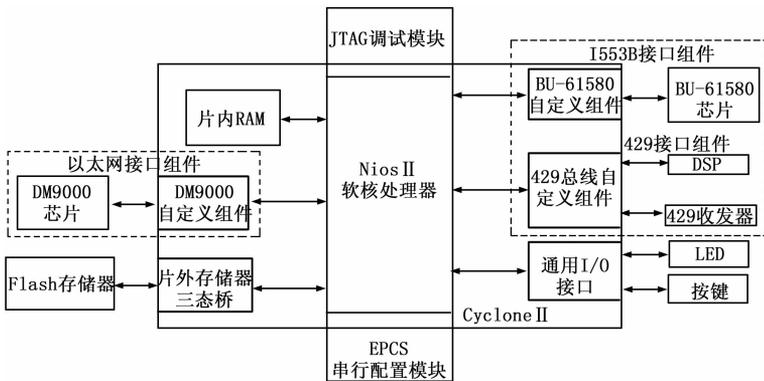


图 2 模块硬件架构

软件设计在 Nios II 软核处理器上移植了  $\mu\text{C}/\text{OS II}$ ，并在  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  上完成了 LwIP 协议的初始化、配置及接口的调用<sup>[5]</sup>；通过调用 LwIP 协议提供的 socket API 接口建立了应用层 Web 服务器和 1553B 及 ARINC429 套字接口任务；网络接口层按照 LwIP 协议提供的驱动程序模版，开发了以太网驱动程序。

### 3 模块硬件接口分析与设计

#### 3.1 以太网接口设计

以太网接口通过 Nios II 软核处理器内的 LwIP 协议主要完成网际层与网络层之间的数据交换。控制器芯片选用 DM9000A，此芯片支持处理器接口以字节/字模式的 I/O 命令对内部存储器数据进行操作，支持用于全双工流控制的 IEEE802.3x 标准，提供 IP/TCP/UDPS 校验和生成以及校验过程，具有可选的 EEPROM 配置，内部存储器支持 8 位/16 位模式访问不同的处理器<sup>[6]</sup>。DM9000A 外围连接框图如图 3 所示。

#### 3.2 1553B 接口设计

1553B 总线接口组件通过 Nios II 软核处理器控制 BU-61580，完成在 BC 模式下的各类消息和命令的发送及状态的

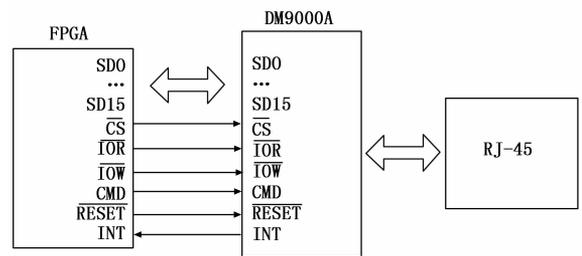


图 3 DM9000A 外围连接框图

读取。BU-61580 包含两个低功耗的收发器，双译码/解码器，BC/RT/MT 协议逻辑，存储器管理，4K×16 位的共享静态 RAM 和与主机相连的缓冲器，接口逻辑等功能块。如图 4 所示。

BU-61580 共 70 个引脚，根据使用方式不同可以分为：电源线、隔离变压器接口、数据总线、地址总线、处理器/内存接口及控制和 RT 地址等。根据不同的系统要求，BU-61580 提供两种耦合方式：直接耦合和变压器耦合。为了提高模块的抗干扰性，设计采用变压器耦合方式。

#### 3.3 ARINC429 接口设计

ARINC429 总线接口组件通过 Nios II 软核处理器控制 ARINC429 总线收发器、DSP 完成数据收发功能。ARINC429 总线收发器由 DE11016、BD429、双口 RAM 及外围电路组成<sup>[7]</sup>。其中 DSP 主要进行模块数据流控制，实现对协议芯片 DE11016 的控制及与外设的通信。DE11016 满足 ARINC429 协议，提供 16 位数据总线接口。BD429 是满足 ARINC429 规范的、双极数据输入线驱动器，它可以把 ±10 V 的数据信号转换为 5 V 内部逻辑电平。该接口电路提供一个发送通道、两个相互独立的接收通道。DE11016 为前级输出，BD429 为差分输出。DE11016 和 BD429 连接如图 5。

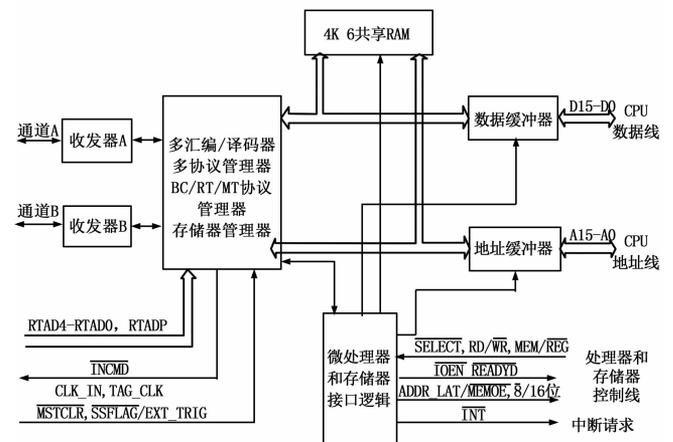


图 4 BU-61580 功能结构图

### 4 模块软件设计

#### 4.1 软件结构设计

如图 6 所示，软件结构层次由应用程序层、驱动层和 Nios II 处理器系统硬件组成。其中驱动层包括：系统初始化程序、LwIP 协议栈、 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ （实时操作系统层）、HAL API（硬件抽象层应用程序接口）和设备驱动软件。应用程序工作

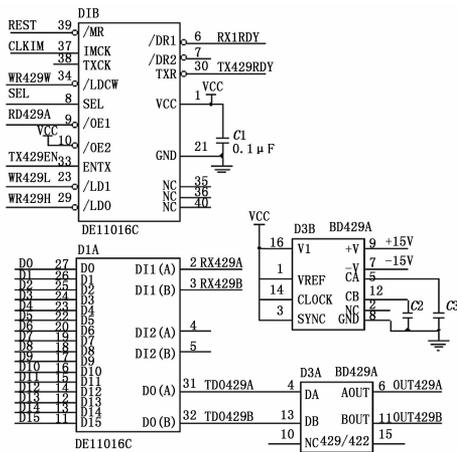


图 5 DE11016 和 BD429 连接图

过程如下：首先运行系统初始化程序，主要包括主初始化函数、DHCP 任务、LED 和按键任务等。初始化程序完成后系统处于工作等待状态，以太网任务等待客户端通过以太网发来的数据包，当有数据包到达时，经物理层处理后交于 TCP/IP 层处理。在 TCP/IP 协议层上，建立了 4 个套接字接口来侦听套接字连接：嵌入式 Web 端口、PING 端口、1553B 端口和 ARINC429 端口。根据客户端请求端口的不同调用不同的任务，对于嵌入式 Web 任务又分为动态网页、静态网页和 Web 控制接口，动态网页和 Web 控制接口需要与 1553B 端口或 ARINC429 端口进行通信。对于 1553B 或 ARINC429 任务，根据客户端不同的请求，将启动不同的任务来完成相应的数据命令的发送或状态的读取。



图 6 软件结构层次图

#### 4.2 基于 μC/OS II 的 LwIP 协议实现

LwIP 可以移植到操作系统上，也可以在无操作系统的情况下独立运行<sup>[8]</sup>。LwIP 实现的重点是在保持 TCP 协议主要功能的基础上减少对 RAM 的占用，一般它只需几十 k 的 RAM 和 40 k 的 ROM 就可运行。

Altera 公司已经在 Nios II IDE 中移植了 LwIP 协议，但是为开发以太网控制器驱动程序和 LwIP 的应用接口函数，须了解 LwIP 的移植方式和关键移植文件。Nios II 中提供了 lwip\_stack\_init 和 lwip\_devices\_init 两个函数完成对堆栈和驱动程序初始化。在调用 OSStart 启动 μC/OS II 调度程序之前需要调用函数 lwip\_stack\_init 来完成 LwIP 堆栈的初始化。函数 lwip\_stack\_init() 的原型如下：

```
void lwip_stack_init(int thread_prio, void (* initfunc)(void *), void * arg)
{
    sys_init();
    #ifdef STATS
        stats_init();
    #endif
}
```

```
endif
mem_init();
memp_init();
pbuf_init();
netif_init();
tcpip_init(thread_prio, initfunc, arg);
return;
}
```

#### 4.3 1553B 及 ARINC429 总线协议任务的实现

为方便对 BU-61580 和 DE11016 芯片操作，编写了 BU-61580 和 DE11016 的驱动程序，主要包括芯片初始化函数、数据发送和读取函数。表 1 列出了主要函数及其说明。通过驱动函数可满足 1553B 及 ARINC429 总线的通信功能。

表 1 BU-61580 和 DE11016 驱动函数表

函数	说明
BU-61580 初始化函数	完成对芯片的初始化
BC 发送接收命令函数	BC→RT 总线控制器向远程终端的传输
BC 发送发送命令函数	RT→BC 远程终端向总线控制器的传输
BC 发送接收/发送命令函数	RT→RT 远程终端向远程终端的传输，使 RTA 接收, RTB 发送
BC 发送不带数据字的方式命令函数	方式命令字专门用于 BC 对通信过程或终端错误/故障的监控、诊断、控制和管理
BC 发送带数据字的方式命令函数	
广播发送	BC 或 RT 将数据发至所有其他终端
DE11016 芯片的初始化函数	完成对芯片的初始化
发送数据函数	作为总线发送器发送数据
读取数据函数	作为总线接收器接收数据

参考嵌入式 Web 服务器的实现方式<sup>[9]</sup>，本文基于 LwIP 和 μC/OS II 建立了端口号分别为 8000 和 8001 的 1553B 和 ARINC429 套字接口任务，在此基础上可实现 1553B 和 ARINC429 总线的协议任务。图 7 所示是套字接口任务程序流程图。

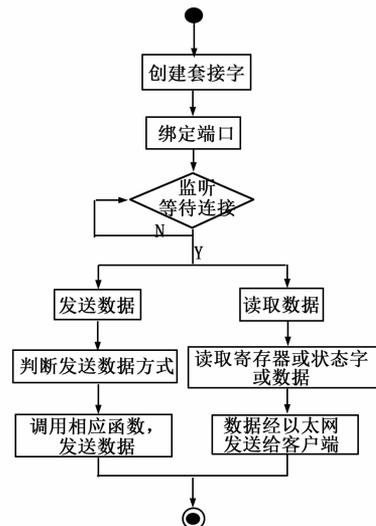


图 7 套字接口任务程序流程图

首先服务器启动，建立 1553B 或 ARINC429 任务接口守

护进程,调用 socket () 函数建立 TCP 套接字,然后调用 bind () 函数将该套接字和本地端口(即 8000 或 8001)绑定在一起,再调用 listen () 函数使套接字做好侦听准备,之后等待客户端连接请求。当客户端调用 connect () 函数请求与服务器建立连接时,服务器调用 accept () 函数来接受连接。连接一旦建立,客户端和服务器之间就可以通过调用 recv () 函数和 send () 函数来发送和接收数据。当客户端发送数据时,服务器调用数据接收函数 recv () 接收数据,然后判断发送方式,调用 BU-61580 或 DEI116 的发送数据函数将数据内容写入相应的寄存器或存储器内,启动发送;当客户端读取数据时,服务器将存储器或寄存器地址传递给数据读取函数,然后把读取到的数据经以太网打包后发送给客户端<sup>[10]</sup>。待数据传送结束后,双方调用 closesocket () 函数关闭套接字。

## 5 结论

LXI 总线自推出以来就广泛受到国内外专家学者的关注,近年来发展迅速,显示出其组建测试系统的众多优点。本文设计实现了 LXI 总线的 1553B 及 ARINC429 通信模块。硬件方面基于 SOPC 技术将 IP 核、接口、外设、微处理器等集成到 FPGA 芯片上,设计了模块的以太网接口、1553B 接口和 ARINC429 接口。软件方面,基于  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  和 LwIP 协议实现了 TCP/IP 协议,从而实现了 1553B 及 ARINC429 总线的协议任务。LXI 总线的 1553B 及 ARINC429 通信模块的设计实现,满足了越来越多武器装备对 1553B 及 ARINC429 总线的测试

需求,推动 LXI 总线在国内的研究和应用。

## 参考文献:

- [1] Agilent Technologies. 转向 LXI 的十个好理由 [EB/OL]. <http://www.agilent.com>, 2006.
- [2] Department of Defense. MIL-STD-1553B. Aircraft Internal Time Division Command/Response Multiplex Data Bus [S]. Washington D. C: Department of Defense, 1978.
- [3] 冯金富,刘安,左伟,等. 模型驱动的开放式结构悬挂物管理系统设计方法 [J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2010, 11 (4): 1-5.
- [4] Altera. Cyclone II FPGA 系列简介 [EB/OL]. <http://www.altera.com.cn/products/devices/cyclone2/overview/cy2-overview.html>, 2005.
- [5] Adam Dunkels. Design and Implementation of the LwIP TCP/IP Stack [M]. 2001, 4-35.
- [6] 刘金龙,史忠科. 基于 FPGA 的以太网与 1553B 网络接口设计 [J]. 测控技术, 2010, (10): 84-87.
- [7] 张田甜,刘亚斌. 基于 PXI 总线的多功能 ARINC429 通信接口电路设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 534-535.
- [8] 阙大顺,王近涛. LwIP 协议在  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  系统上的移植和实现 [J]. 舰船电子工程, 2006, 26 (4): 89-91.
- [9] 王泉崇. 嵌入式 Web 服务器 [D]. 杭州:浙江大学, 2005.
- [10] 陈普然. 基于嵌入式 MPU 核的 1553B 总线接口控制器的设计 [D]. 南京:南京航空航天大学, 2003.

(上接第 2215 页)

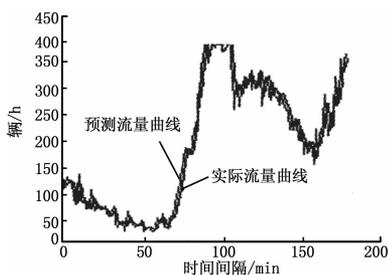


图7 文中方法预测与实际流量对比

## 6 结语

为了实现对具有复杂性、非线性、非结构化等特征的城市交通状态进行实时分析和预测,提出了一种基于物联网和 PCA 支持向量机的智能交通预测系统。首先,介绍了系统原理和总体结构,然后对系统的软硬件进行了详细设计,提出了一种在监控中心采用 PCA 对采集数据进行降维,提取其中独立不相关主成分的方法,并采用 LSSVM 对交流流量值进行预测。仿真实验证明了文中方法具有较高的预测精度,是一种有效可行的方法。

## 参考文献:

- [1] 刘小洋,伍民友. 车联网:物联网在城市交通网络中的应用 [J]. 计算机应用, 2012, 32 (4): 900-904.
- [2] Row S J. IntelliDrive: safer smarter greener [EB/OL]. [2010-01-4]. <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/>

10julaug/04. cfm.

- [3] 蒋新华,陈宇,朱铨,等. 交通物联网的发展现状及趋势研究 [J]. 计算机应用研究, 2013, 30 (8): 2256-2261.
- [4] Baskar L D, De Schutter B, Hellendoorn J, et al. Traffic control and intelligent vehicle highway systems: a survey [J]. Intelligent Transport Systems, 2011, 5 (1): 38-52.
- [5] 李丽君,刘鸿飞,杨祖元,等. 车用自组网信息广播 [J]. 软件学报, 2010, 21 (7): 1620-1634.
- [6] Elson J, Girod L, Estrin D. Fine-grained Network Time Synchronization Using Reference Broadcasts [A]. Fifth Symposium Operating Systems Design and Implementation, Boston [C]. Massachusetts, USA, 2001: 1-2.
- [7] 吴振强,周彦伟,马建峰. 物联网安全传输模型 [J]. 计算机学报, 2011, 34 (8): 1351-1364.
- [8] 郁雪,李敏强. 基于 PCA-SOM 的混合协同过滤模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30 (10): 1850-1854.
- [9] 赵鑫,汪维家,曾雅云,等. 改进的模块 PCA 人脸识别新算法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, (26): 1-5.
- [10] Osuna E, Freund R. Training support vector machines: an application to face detection [A]. Proc of computer vision and pattern recognition, IEEE Computer Society [C], 1997: 130-136.
- [11] 庄新妍. 遗传优化支持向量机在电力负荷预测中的应用 [J]. 计算机仿真, 2012, 29 (3): 348-350.
- [12] 唐新来,李春贵,王萌,等. 基于混沌粒子群算法的神经网络短时交通流预测 [J]. 2010, 18 (8): 1893-1895.
- [13] 李建武,陈森发,黄鹏. 基于粗集理论和支持向量机的道路网短时交通流量预测 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27 (10): 3683-3690.